

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**

# **Bakalářská práce**

**Ostrava 2016**

**Jakub Horňák**

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra energetiky**

## **Energetická bilance budovy**

## **The energy balance of the building**

**Student: Jakub Horňák**

**Vedoucí ročníkového projektu: Ing. Stanislav Honus, Ph.D.**

**Studijní obor: Energetika – Ochrana životního prostředí**

**Datum: 1.1.2016**

**Zadání ročníkového projektu: Energetická bilance budovy**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Horňák**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí  
Téma: **Energetická bilance budovy**  
**Energy Balance of the Building**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popište řešenou budovu.
2. Vypočítejte tepelné ztráty budovy.
3. Zanalyzujte jednotlivé energetické toky v budově.
4. Proveďte závěrečná zhodnocení a návrhy na snížení ztrát energií.

Seznam doporučené odborné literatury:

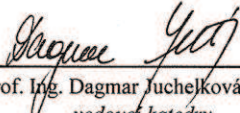
BLAHOŽ, V., KADLEC, Z. *Základy sdílení tepla*. 2. vydání. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2000. 110 s. ISBN 80-902001-1-7.  
LABOUTKA, K., SUCHÁNEK, T. *Výpočtové tabulky pro vytápění 9*. Společnost pro techniku prostředí, 2001.  
SAZIMA, M., KMONÍČEK, V., SCHNELLER, J. *Teplo*. 1. vydání. SNTL –Nakladatelství technické literatury, 1989. 592 s. ISBN 80-03-00043-2.  
VRÁNA, J. a kol. *Technická zařízení budov v praxi*. Grada, 2007. 332 s. ISBN 978-80-247-1588-9.  
LINHART, L. *Zateplování budov*. 1. vydání. Grada, 2010. 112 s. ISBN 978-80-247-3361-6.  
TYWONIAK, J. *Nízkoenergetické domy*. Grada, 2005. 200 s. ISBN 80-247-1101-X.  
ČSN 730540-2 (730540). *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. 2012

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Stanislav Honus, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016

  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celý ročníkový projekt včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího ročníkového projektu a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá výpočtem tepelných ztrát rodinného domu, jenž je situován v Ostravě-Hrabové. Součástí práce je také úvod do problematiky tepelných ztrát a představení možností jak ztráty omezit. V práci je obsažen vzorový výpočet jedné konstrukce řešené budovy. Samotný výpočet je proveden pomocí počítačového softwaru „Stavební fyzika – Ztráty“. V závěru práce jsou diskutovány možnosti snížení tepelných ztrát pomocí izolačních materiálů.

## **Abstract**

This Bachelor thesis deals with the heat losses calculation of house situated in Ostrava Hrabová. The thesis also includes an introduction to the problems of heat loss and show the options how to reduce losses. A model of calculation is included in the thesis. The calculation is done by using computer software „Stavební fyzika – Ztráty“. In the conclusion of the work there is a discussion about the possibility of reducing losses by using insulating materials.

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval všem, kteří mě při psaní této práce podporovali a především Ing. Stanislavu Honusovi, Ph.D. za jeho vedení.

**Seznam použitých symbolů a zkratek**

$\alpha_k$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	součinitel prostupu tepla při proudění
$\eta$	$[-]$	účinnost využitelnosti tepelných zisků
$\lambda$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	Součinitel tepelné vodivosti
$B$	$[\text{Pa}^{0,67}]$	charakteristické číslo budovy
$dt/dx$	$[\text{K} \cdot \text{m}^{-2}]$	gradient teplot, poměr přírůstku teploty ku vzdálenosti mezi plochami
$D$	$[\text{S}]$	délka časového období
$D_p$	$[\text{K}^{-1}]$	počet denostupňů (počet dní · průměrná vnitřní a vnější teplota)
$E$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	energetická bilance
$f$	$[-]$	faktor znečištění a zastínění
$g$	$[-]$	celkový prostup tepelného záření
$H_p$	$[\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$	množství solární energie dopadající na povrch zasklení
$i_{LV}$	$[\text{m}^2]$	součinitel spárové průvzdušnosti
$k_o$	$[-]$	stupeň využití slunečních zisků
$k_r$	$[-]$	korekční činitel rámu
$l_i$	$[\text{m}]$	tloušťka stěny
$L$	$[\text{m}]$	délka spár otevíratelných oken a dveří
$M$	$[-]$	charakteristické číslo místnosti
$n_h$	$[\text{h}^{-1}]$	intenzita výměny vzduchu
$q$	$[\text{W} \cdot \text{m}^2]$	hustota tepelného toku
$p_1$	$[-]$	přirážka vyrovnání vlivu chladných
$p_2$	$[-]$	přirážka na urychlení zátoku
$p_3$	$[-]$	přirážka na světovou stranu
$q$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	hustota tepelného toku
$Q_{bil}$	$[\text{MJ}]$	energetická bilance v daném období
$Q_c$	$[\text{W}]$	celková ztrátová bilance
$Q_g$	$[\text{MJ}]$	sluneční zisky v daném období
$Q_l$	$[\text{MJ}]$	energetické ztráty v daném období
$Q_o$	$[\text{W}]$	Základní tepelná ztráta prostupem
$Q_p$	$[\text{W}]$	ztráty prostupem
$Q_v$	$[\text{W}]$	ztráty větráním
$Q_z$	$[\text{W}]$	tepelné zisky

$R_j$	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor v konstrukci zdi
$R_{se}$	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor v exteriéru
$R_{si}$	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor v interiéru
$R_T$	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	celkový tepelný odpor
$s_{mez}$	$[m]$	tloušťka mezery mezi skly
$S$	$[m^2]$	plocha uvažované konstrukce
$S_w$	$[m^2]$	plocha okna včetně rámu
$t_1, t_2$	$[K]$	teploty interiéru a exteriéru
$U$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla
$U_{ekv}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla
$U_g$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla zasklením
$\dot{V}_V$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	objemový tok
$\dot{V}_{VH}$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	objemový tok daný hygienickými a technologickými požadavky
$\dot{V}_{VP}$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	objemový tok daný přirozeným větráním
$V_m$	$[m^3]$	objem vzduchu v místnosti
$U_w$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla oknem



**Obsah**

Úvod.....	11
1 Tepelné ztráty.....	12
1.1 Teorie o výpočtových teplotách.....	12
1.2 Ztráty způsobené prostupem střechou .....	14
1.2.1 Izolování stropů pod půdou.....	14
1.2.2 Izolování šikmé střechy.....	14
1.2.3 Izolování jednoplášťové střechy .....	15
1.3 Ztráty prostupem stěnou a oknem.....	15
1.3.1 Izolace vnější obvodové stěny domu .....	15
1.3.2 Izolace oken .....	16
1.4 Ztráty způsobené tepelnými mosty .....	19
1.4.1 Tepelné vazby .....	19
1.4.2 Tepelné mosty v konstrukci .....	19
1.4.3 Izolování proti vzniku tepelných mostů .....	19
1.5 Ztráty způsobené únikem tepla podlahou .....	20
1.5.1 Izolace podlah .....	20
1.6 Ztráty způsobené větráním.....	21
2 Teorie přenosu tepla .....	22
2.1 Kondukce .....	22
2.1.1 Stacionární vedení tepla .....	22
2.1.2 Nestacionární vedení tepla .....	23
2.2 Konvekce .....	24
2.2.1 Newtonův vztah .....	24
2.3 Záření .....	24
3 Teorie výpočtu tepelných ztrát objektu dle ČSN 06 0210 .....	26
3.1 Seznam potřebných podkladů .....	26
3.2 Výpočet celkových ztrát .....	26

---

3.2.1	Ztráta prostupem .....	26
3.2.2	Ztráta větráním .....	28
4	Popis rodinného objektu .....	31
5	Vzor výpočtu ztrátového tepla .....	33
5.1	Výpočet ztrát dle ČSN 06 0210 .....	33
5.1.1	Zadané hodnoty .....	33
5.1.2	Vlastní výpočet dle ČSN 06 0210 .....	33
6	Výpočet tepelných ztrát programem – metodika zadávání .....	35
6.2	Vlastní práce v programu .....	35
6.3	Výpis výsledků po prvním výpočtu .....	39
6.4	Vyhodnocení výsledků a snížení tepelných ztrát .....	41
7	Závěr .....	43
8	Seznam příloh .....	44

## Úvod

V dnešní době se ve velké většině snaží domácnosti žít s co největší úsporou a snížit náklady na bydlení. V těchto nákladech se myslí také náklady na úsporu tepelné energie. Ušetření financí například díky snížení unikajících tepelných ztrát je zpočátku nákladnou záležitostí, ale s pozdější jistotou návratností.

Tato práce se zaměřuje na různé možnosti, jak lze energie unikající z obydlí zadržet (snížit ztráty). Vhodnou volbu izolace či předcházení tepelných mostů lze docílit mnoha způsoby. Způsob přenosu tepla jako takový je nedílnou součástí tepelných ztrát. V práci je obsažena část zabývající se právě úvodem do této kapitoly.

. V práci je uveden příklad výpočtu tepelné ztráty jednoduché konstrukce dle normy ČSN 06 0210 – Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění. Zbývající část výpočtů jsou provedeny s pomocí počítačového softwaru Stavební Fyzika 2010 – Ztráty. Uvedenou součástí práce je zobrazení metodiky zadávání informací ze stavebních materiálů domu.

Cílem této práce je získání informace o ztrátách zvoleného domu. Přínosem autora této práce bude najít vhodné řešení pro případné snížení tepelných ztrát. Například využití izolace pro přímo zvolený dům.

## 1 Tepelné ztráty

Tepelná ztráta je okamžitá hodnota tepelné energie (přesněji tepelný tok), která z domu uniká prostupem tepla nebo větráním. Tuto hodnotu počítáme vždy pro kritické (extrémní) podmínky.

### 1.1 Teorie o výpočtových teplotách

Kritická výpočtová teplota pro ČR je přibližně  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kritická teplota se mění se zeměpisnou polohou a nadmořskou výškou. Pro tuto kritickou teplotu musí být zvlášť dimenzována otopná soustava a tepelný zdroj na vytápění. Tepelná ztráta se dá spočítat ze stanovení potřebného výkonu zdroje tepla. Pro stanovení potřebného výkonu otopných těles je nutno spočítat tepelnou ztrátu jednotlivých místností. Tímto stanovením výkonu tepelného zdroje lze ušetřit nejen provozní náklady, ale také náklady investiční. Vhodné dimenzování zdroje je taky základem pro dosažení vysoké účinnosti. Protože tyto extrémní teploty, které si volíme, jsou na našem území v zimní období jen krátkou dobu, u dražších zdrojů energie (tepelné čerpadlo apod.) se zdroje dimenzují na nižší výkon s tím, že pokud potřebujeme získat vyšší příkon, je možno si přitápět jiným zdrojem jako například elektřinou. [1]

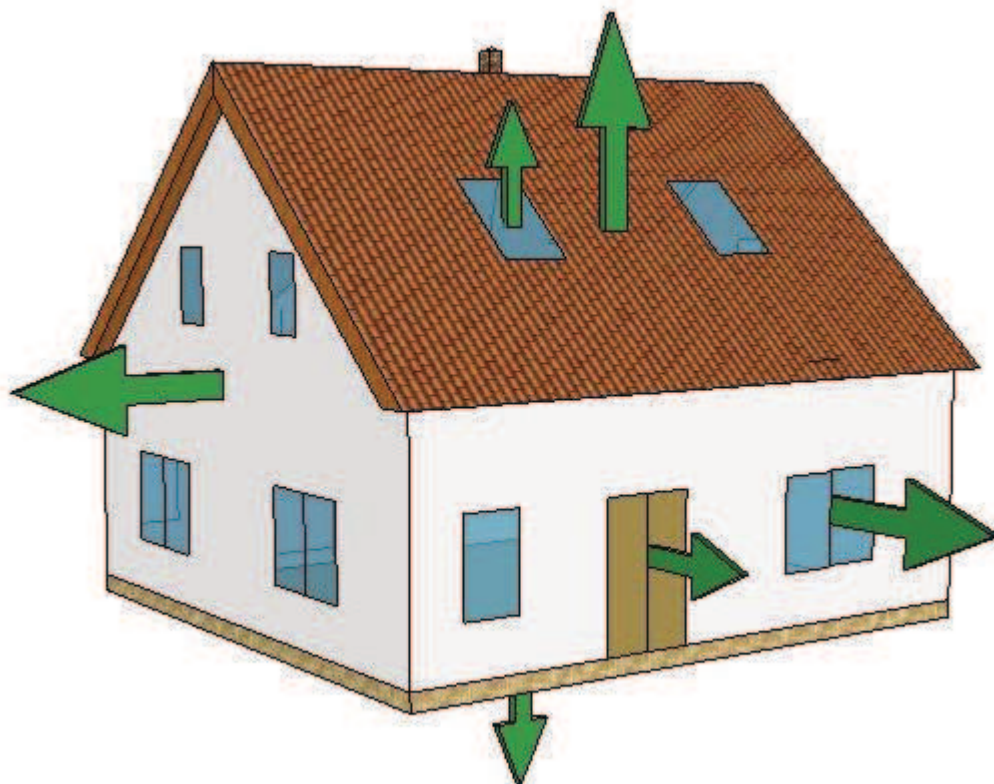
Spotřeba tepla je tedy množství energie na vytápění, kterou je potřeba do domu přivést, aby v něm byla dosažena požadovaná teplota. Při výpočtech se uvažuje průměrná délka topného období (přibližná hodnota je 242 dnů). Dále pak doba, kterou se doma denně vytápí (většinou se počítá 16 hodin denně), a také průměrná vnější teplota za otopné období, která je v ČR přibližně  $+3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Průměrná délka topného období a průměrná teplota vytápěcího období jsou závislé na zeměpisné poloze a nadmořské výšce - viz Tabulka 1.

Tabulka 1 - Příklady dlouhodobě průměrných klimatických podmínek v ČR [2]

Místo	Nadmořská výška	Kritická teplota	pro topné období od 12°C		pro topné období od 13°C	
			Vnější teplota	počet dnů	Vnější teplota	počet dnů
Brno	227	-12	3,6	222	4,0	232
Bruntál	546	-18	2,7	255	3,3	271
Hradec K.	244	-12	3,4	229	3,9	242
Ostrava	217	-15	3,6	219	4,0	229
Praha	181	-12	4,0	216	4,3	225
Vsetín	346	-15	3,2	225	3,6	236

Tepelné ztráty vznikají na různých místech domu. Teplo uniká nejen stěnou, ale také střechou, podlahou, okny, tepelnými mosty či větráním – viz Obrázek 1. [2]

Obrázek 1 – Unikající tepelné ztráty [3]



## 1.2 Ztráty způsobené prostupem střechou

Volba vhodné izolace a její umístění je důležitou složkou jak omezit nechtěné tepelné úniky. Střechy lze volit dle sklonu střešních rovin. Dělí se na ploché (do 5°), šikmé (5° až 45°) a strmé (nad 45°). Střechy se dále rozdělují dle počtu vrstev pláště na jednoplášťové, dvouplášťové a víceplášťové. S víceplášťovými se lze setkat nejčastěji při realizaci a návrhu šikmých střech. [4]

### 1.2.1 Izolování stropů pod půdou

Pokud se jedná o dům, ve kterém není vytápěna půda nebo přímo podkroví pod střechou, jde strop poměrně snadno izolovat položením izolace na podlahu půdy. Pokud se půda dále plánuje využívat, je nutno mít izolaci překrytou prkny nebo deskami. Tento druh izolace patří mezi nejlevnější a nejefektivnější. Výhodnou je také proto, že umožňuje demontáž (např. zvýšení domu, výstavba podkroví). Jinou možností je zaplnění dutiny trémového stropu. Používá se foukaná izolace z papírových vloček nebo bavlny, kde vzniká minimální zásah do konstrukce a interiéru. [5]

### 1.2.2 Izolování šikmé střechy

Při rekonstruování půdy na podkroví nebo přímo zateplování podkroví se unikům zamezuje izolací střechy. Při zateplování šikmé střechy se využívá minimálně dvou vrstev tepelné izolace. Nejčastěji izolace mezi krokvy a izolace pod nimi. Izolace pod krokvy zabraňuje vzniku tepelných mostů. Nejvhodnějším materiálem jsou výrobky z minerální vlny na bázi skla. Je prodyšná, pružná a vyplní dutiny stavebních konstrukcí. Pomocí součinitele prostupu tepla se orientuje ve výběru vhodné tloušťky. Čím nižší hodnota tím lépe izolace funguje. Vrstva mezi krokvy se volí přibližně stejné tloušťky jako je tloušťka krokve a u části pod ní se navrhuje přibližně 60mm. Pokud je snaha o dosažení co největší tepelné úspory, můžeme předimenzovat spodní vrstvu. U takového řešení se využívá kotvícího roštu, který pomáhá držet všechny vrstvy. Na nosný rošt je páskami lepena parozábrana pro vytvoření parotěsných vrstev a vše se připevní pomocí sádkartonových desek. [5], [6]

### 1.2.3 Izolování jednoplášťové střechy

Jednoplášťová střecha se pozná dle její skladby. Mezi částmi, ze kterých se skládá, není žádná vzduchová mezera, všechny vrstvy pláště jsou uloženy tak, aby byly na sebe přilehlé. Můžeme zde zařadit třeba střechy z došků ze slámy či rákosu. Tento typ krytin má schopnost plnit funkci skládané hydroizolační vrstvy i tepelného izolantu. Při tom umožňuje snadnému prostupu vodních par. Tato konstrukce je využívána pouze příležitostně, protože je možné ji postavit pouze za určitých podmínek. Nejjednodušší variantou by mohla být střecha nad půdou bez tepelné izolace, kdy střešní plášť obsahuje krytinu na laťování. Jedná se o typ konstrukce, která nemusí být vodotěsná. Ovšem kvůli netěsnosti krytiny je prostor provětráván a střecha je považována za dvouplášťovou. Střecha může být také bez tepelné izolace. [4]

Mezi základní vrstvy střešního pláště řadíme parozábranu, tepelnou izolaci, pojistnou hydroizolaci a krytinu laťovanou nebo kontralaťovanou. Izolace, kterou volíme, musí mít schopnost udržet velkou tíhu vrstev nad ní. Tj. mechanické kotvení, krytina střechy, různé zámky a ozuby, které střechu drží pohromadě. Existují také izolační desky, které mohou nahradit parozábarany nebo hydroizolaci. Takové desky jsou z polystyrenu s vnější profilací, čímž podporují odtok vody pod krytinou. [4]

## 1.3 Ztráty prostupem stěnou a oknem

Největší procento tepelných ztrát uniká skrze obvodové stěny obydlí a okna. Pro snížení hodnoty ztrát úniku tepla stěnou se volí izolace vnější nebo vnitřní. Častější volbou bývá izolace vnějších obvodových stěn domu. Pro snížení ztrát skrze okna se volí lepší zateplení rámu pro lepší těsnění oken výměna samotných oken. [7]

### 1.3.1 Izolace vnější obvodové stěny domu

Izolace vnější stěny se využívá především díky množství alternativ izolací. Jednou z hlavních výhod tohoto typu izolace je, že návrh izolace není limitován prostorem, jako tomu bývá i izolace vnitřní. Nejběžnější metodou pro izolaci vnějších stěn je kontaktní izolace, kde se využívá nejčastěji materiálu z minerální vlny či polystyrenu. [7]

Při izolování polystyrenem se kvádry materiálu lepí tmelem přímo na vnější stěnu domu a jsou kotveny talířovými hmoždinkami. Dále systém doplňuje vrstva malty, sklotextilní síťovina a omítka. [7]

Velkou nevýhodou polystyrenu je jeho malá propustnost vodních par, tím se zvedá vlhkost stěn a může dojít ke vzniku plísně. Doporučuje se použít pro zdi, stavěné z materiálu o větším difuzním odporu než polystyren (např. beton). Tomuto lze ovšem předejít polystyrenovými deskami s malými otvory pro odvod vodní páry. [7]

Minerální vlna se uplatňuje ve formě minerálních desek, tvořící sendvič s podélnými a kolmými vlákny. Výhodou je, že sendviče lze přikládat na jakýkoli typ zdiva. Celková konstrukce se skládá ze sendvičů, lepených na fasádu a ukotvených pomocí plastových hmoždinek, armovacích výztuží a omítky. [7]

Také u tohoto typu izolace hrozí vznik kondenzace vodní páry, ovšem je možno se chránit díky minerální tenkostěnné omítce, která je velmi dobře difúzně propustná. [7]

### 1.3.2 Izolace oken

V nízkonákladových domech je třeba vědět, jak správně zvolit typ oken. Zisk tepla, získaný slunečním teplem může vyrovnávat značnou část z celkové hodnoty ztrát domu. Na výběr je mnoho druhů a typů zasklení, které mají mnoho různých izolačních nebo solárních vlastností. Nejdůležitější vlastnost okenního skla je jeho tepelně-izolační schopnost. Druhou podstatnou vlastností je umožnění průchodu slunečním paprskům. Spojením těchto dvou vlastností má velký vliv během jakéhokoli ročního období na energetickou bilanci oken. [8]

Starší typy zasklení byly složeny ze dvou skel, mezi kterými byla malá mezera vyplněná pouze vzduchem. Součinitele prostupu tepla dosahovaly pouze  $U_g = 2,5 \text{ až } 3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ . Tyto hodnoty jsou již nedostatečné. V dnešní době jsou k dostání zasklení o součiniteli menších než  $1,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ . [8]



K úniku tepla dochází především:

- konvekci v mezeře mezi skly
- sáláním mezi povrchy skel
- vedením přes plyn v mezeře mezi skly
- vedením mezi distančními profily [8]

Pro udržení tepla v místnosti se povrch skel pokrývá lehkou vrstvou (0,01 až 0,10  $\mu\text{m}$ ) ze stříbra a oxidu kovů. Sníží se tím emisivita  $\varepsilon$  a sklo tak odráží zpět dlouhovlnné tepelné záření. Dále je nutná správná volba plynu, který je obsažen v mezeře mezi skly. Tabulka 2 obsahuje základní druhy plynů a jejich vlastnosti. [8] [9]

Tabulka 2 - Některé fyzikální vlastnosti zasklení s různými druhy náplní [8]

Plyn	$\lambda$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	U [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ] s tloušťkou mezery s [mm]		
		0,006	0,012	0,018
Vzduch	0,0258	3,3	2,93	2,8
Xenon	0,0054	2,75	2,59	2,56
Argon	0,0173	3,04	2,75	2,66
Krypton	0,0093	2,6	2,53	2,54

### 1.3.2.1 Určení ekvivalentního součinitele prostupu tepla pro okna

Výpočtová metoda je popsána normou ČSN EN ISO 14 438, která slouží k výpočtu ztrát a tepelných zisků procházející skrze sklo do budovy v čase. [8]

Energetická bilance  $E$  je popsána v „Rovnici 1 – Energetická bilance“, která obsahuje součinitel prostupu tepla zasklení, účinnost využití tepelných zisků, prostup tepelného záření, faktor znečištění a zastínění, množství solární energie dopadající na povrch zasklení. „Rovnice 2 – Celkové ztráty za časové období“ určuje celkové množství ztrát  $Q_l$ , za časové období (topná sezóna, počet měsíců či dní). Tepelné solární zisky  $Q_g$  se spočtou dle „Rovnice 3 – Tepelné solární zisky“. Energetická bilance oken se spočítá jako rozdíl mezi tepelnými ztrátami a využitou solární energií dle „Rovnice 4 – Energetická bilance okna“. Z konečné „Rovnice 5 – Ekvivalentní součinitel prostupu tepla“ se vypočte ekvivalentní součinitel prostupu tepla  $U_{ekv}$  a tedy také hodnota, kterou lze dosadit do výpočtu určujícího hustotu tepelného toku skrze okno. [8]

$$E = U_g - \frac{\eta \cdot g \cdot f \cdot H_p}{D_p} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (1)$$

kde	E	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	energetická bilance
	$\eta$	$[-]$	účinnost využitelnosti tepelných zisků
	g	$[-]$	celkový prostup slunečního záření
	f	$[-]$	faktor znečištění a zastínění
	$H_p$	$[\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$	množství sol. energie dopadající na okno
	$D_p$	$[\text{K}^{-1}]$	počet denostupňů

$$Q_l = \frac{U_w \cdot S_w \cdot \Delta t \cdot D}{1 \cdot 10^6} \quad [\text{MJ}] \quad (2)$$

kde	$Q_l$	$[\text{MJ}]$	energetické ztráty v daném období
	$U_w$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	součinitel prostupu tepla oknem
	$S_w$	$[\text{m}^2]$	plocha okna včetně rámu
	$\Delta t$	$[\text{K}]$	teplotní rozdíl
	D	$[\text{s}]$	délka časového období

$$Q_g = S_w \cdot k_r \cdot g \cdot Q_s \quad [\text{MJ}] \quad (3)$$

kde	$Q_g$	$[\text{MJ}]$	sluneční zisky v daném období
	$k_r$	$[-]$	korekční činitel rámu
	$Q_s$	$[\text{MJ}/\text{m}^2]$	intenzita dopadajícího záření na plochu

$$Q_{bil} = Q_l - k \cdot Q_g \quad [\text{MJ}] \quad (4)$$

kde	$Q_{bil}$	$[\text{MJ}]$	energetická bilance v daném období
	$k_o$	$[-]$	stupeň využití slunečních zisků

$$U_{ekv} = \frac{Q_{bil} \cdot 1 \cdot 10^6}{S_w \cdot \Delta t \cdot D} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (5)$$

kde	$U_{ekv}$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla
-----	-----------	--	--

Z informací od prodejce oken lze zjistit základní vlastnosti skla, pro výpočet potřebné součinitele prostupu tepla sklem a oknem, korekční činitele rámu a solární faktor.

## 1.4 Ztráty způsobené tepelnými mosty

Tepelným mostem označujeme místo, kde dochází k vícerozměrnému vedení. Mohou být způsobeny konvekcí, kondukcí i sáláním. Ve stavebnictví jsou způsobeny převážně vedením. Zde se dělí na tepelné mosty v konstrukci a tepelné vazby. Tepelné mosty mají zvětšující se význam vzhledem k hygienickému nebo stavebnímu hledisku. Dochází k navýšení tepelného toku, tedy uniká více energie. Povrch stěny v interiéru je studenější a v exteriéru chladnější, než jejich okolí. [10]

V místech tepelných mostů dochází k horšímu vysušování ovzduší, tedy vzniká místo, kde může vzniknout vysoká vlhkost, díky které postižené místo napadají plísně. U dřevěných částí staveb dochází ke hnilobě nosných trámů a narušení statiky obydlí. [11]

### 1.4.1 Tepelné vazby

Tepelná vazba je typ tepelného mostu, který vzniká stykem dvou konstrukcí (např. roh budovy kde je styk dvou stěn, spojení okna a zdi). [12]

### 1.4.2 Tepelné mosty v konstrukci

Rozlišujeme tepelné mosty v konstrukci na nahodilé, vznikající například špatným promaltováním cihel, a systematické vznikající například v krokách. [12]

Nahodilé se v konstrukci neopakují a dělí se na lineární a bodové. Vznikají v místech, kde je špatně umístěné okno ve stěně. [12]

Systémové jsou pravidelně opakující. Jejich vliv musí být nějakým způsobem obsažen ve výpočtu součinitele prostupu tepla. Nejčastějším příkladem bývají krokve, mezi kterými je tepelná izolace. [12]

### 1.4.3 Izolování proti vzniku tepelných mostů

Riziko vzniku tepelného mostu se může snížit například těmito způsoby. První je náhrada vnějšího zdiva materiálem s lepšími tepelně izolačními vlastnostmi. Druhá

možnost je posunout (pokud se jedná například o tepelný most vzniklý mezi oknem a zdí) okenní rám hlouběji směrem do obydlí. I když se zvýší hodnota úniku tepla, ale dochází k přivedení tepla na vnitřní povrch stěny. [10]

## 1.5 Ztráty způsobené únikem tepla podlahou

Množství ztraceného tepla prostupem do podlahy je nejmenší ze všech typů ztrát z důvodu teploty zeminy, jejíž hodnota bývá nižší než hodnota teploty okolí. Z důvodu nižší tepelné ztráty byla do samotných výpočtů a hlavně norem uvedena mnohem později.

Výpočet definují normy ČSN EN ISO 13370 a ČSN EN ISO 12211. [13]

### 1.5.1 Izolace podlah

Dle typu domu se nabízí varianty izolací. Záleží, zda je v izolovaná podlaha přímo nad zemí nebo nad sklepem. Pokud je pod podlahou sklep, doporučuje se izolovat strop ve sklepě. A to z důvodu nedostatku místa pro tloušťku vkládané izolace, protože by bylo nutno navýšit podlahu v místnosti. Tloušťka izolace se volí dle požadavků normy ČSN 73 0540-2 – Tepelná ochrana budov. [13]

Při izolování se nabízí otázka, zda je potřeba odstranit celá podlaha a při této příležitosti například izolovat podlahu také proti vlhkosti, nebo jen podložit například plovoucí podlahu. Při odbourání celé podlahy se vyplní prostor pod místností izolačním materiálem, který se znovu zalije betonem o síle přibližně 6 cm. Pod plovoucí podlahou se jako izolace může využít například 2 až 5 centimetrová vrstva tvrzené minerální vaty. [13]

## 1.6 Ztráty způsobené větráním

Větrání je nutno provádět v každém domě. Vzduch uvnitř domu by měl být obnoven přibližně co dvě hodiny. Množství ztrát způsobené větráním může dosáhnout až 1/3 z celkového množství ztrát u nezaizolovaného domu. Nejčastěji probíhá větrání bez asistence člověka a to skulinami mezi okenním rámem a křídlem. Ovšem tento způsob není zcela zaručen, protože závisí na přírodních podmínkách v exteriéru (vítr, teplota). V dnešní době jsou k dostání okna s regulovatelným rámem (otvorem v rámu). [14]

## 2 Teorie přenosu tepla

### 2.1 Kondukce

Kondukce (vedení) je jedním ze způsobů přestupu tepla. Teplo se přenáší v oblasti, kde částice předávají část ze své kinetické energie srážením s jinými částicemi. Vedení tepla jako samotné se vyskytuje v pevných tělesech, kde v každé z částí tělesa je jiná teplota. [16]

Rychlost vedení je dána velikostí „součinitele tepelné vodivosti“. Čím nižší hodnota součinitele, tím nižší rychlost prostupu tepla. Rychlostí vedení dělíme látky na tepelné izolanty a vodiče. [15]

Z hlediska dynamiky lze dělit vedení na:

- Stacionární – teplotní rozdíl v jednotlivých místech tělesa se v čase nemění
- Nestacionární – teplotní rozdíly se v jednotlivých místech tělesa postupně vyrovnávají. [15]

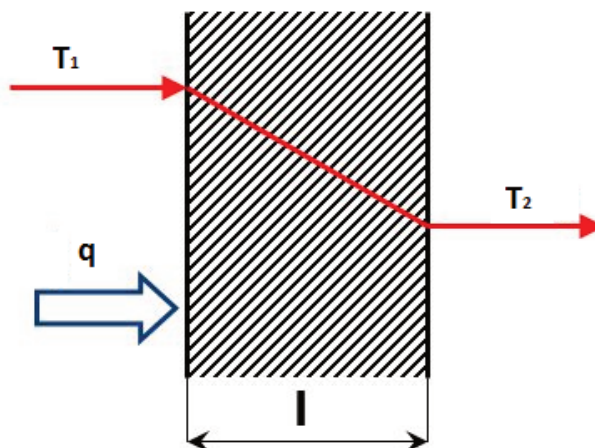
#### 2.1.1 Stacionární vedení tepla

Vedení tepla popisuje Fourierův zákon („Rovnice 6 – Základní Fourierův zákon vedení tepla“), který říká, že vektor hustoty tepelného toku „ $q$ “ je úměrný gradientu teploty a má opačný směr. Tvar křivky stacionárního vedení zobrazuje Obrázek 2. [15]

$$\mathbf{q} = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \quad (6)$$

kde	$q$	$[W \cdot m^{-2}]$	hustota tepelného toku
	$dt/dx$	$[-]$	gradient teplot, poměr přírůstku teploty ku vzdálenosti mezi plochami.
	$\lambda$	$[W \cdot m^{-2}]$	součinitel tepelné vodivosti

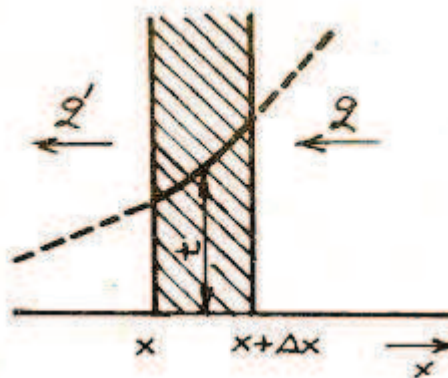
Vedení tepla se dělí dle tvaru tělesa, kterým teplo prochází. Rozlišují se vedení tepla rovinnou nebo válcovou stěnou. U rovinné stěny si lze představit průchod skrze zdi domu či bytu. Vedení válcovou stěnou například jako vedení skrze tepelné potrubí.



Obrázek 2 – Křivka stacionárního vedení tepla [17]

### 2.1.2 Nestacionární vedení tepla

Může nastat situace, kdy se teplota v uvažovaném místě tělesa mění spolu s časem. Jedná se tedy o nestacionární vedení. V tuhém tělese již není teplo vedeno v ose, nýbrž po křivce jako zobrazeno na Obrázku 3. [15]



Obrázek 3 – Křivka nestacionární vedení tepla [15]

## 2.2 Konvekce

Je způsob šíření tepla prouděním hmoty, o různé teplotě. Schopnost konvekce mají pouze kapaliny a plyny, popřípadě plazma. Přenos tepla probíhá vzájemným pohybem částic, které mají rozlišnou teplotu a hustotu vnitřní energie. [18]

Proudění vzduchu se v základě rozděluje na proudění volné a nucené. Nucené je podporováno nějakými vnějšími silami (např. ventilátory). [18]

Rozdělení samovolného proudění: [19]

- Laminární – vzduch se pohybuje ve vrstvách ve směru proudění
- Turbulentní – vzduch přechází z jedné vrstvy do druhé
- Vířnaté

Typ proudění určuje teplotní rozdíl mezi teplotou na stěně a v tekutině. Průběh proudění záleží na změně teploty kapaliny (vzduchu). Zda se médium ochlazuje, ohřívá nebo probíhá ochlazování i ohřev současně. Proudění popisuje nejlépe Newtonův vztah. Proudění je dále možno rozdělit na proudění v omezeném a neomezeném prostoru. [19]

### 2.2.1 Newtonův vztah

Newtonův vztah popisuje proudícího plynu (kapaliny) okolo pevného tělesa o jiné teplotě a je zapsán v „Rovnici 7 – Newtonův vztah“. [19]

$$Q_k = \alpha_k \cdot (t_1 - t_2) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7)$$

kde	$Q_k$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$	hustota tepelného toku prouděním
	$\alpha_k$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$	součinitel prostupu tepla při proudění

## 2.3 Záření

Energie se přenáší elektromagnetickým vlněním. Záření má mnoho podob, ale pro tepelné záření má největší význam záření infračervené. Vznik tepelného záření z tepelné energie nazýváme emise a naopak vznik tepelné energie ze záření nazýváme absorpce. [20]



Základní rozdělení záření dle zákonů: [20], [21]

- Kirchhoffův zákon – Dvě různé desky jsou uspořádány tak, že záření z jedné je absorbována druhou. Poměr sálavosti a pohltivosti je stejná pro tělesa o stejných teplotách. Sálavost dokonale černého tělesa je funkcí absolutní teploty a vlnové délky.
- Planckův zákon – Planck tvrdí, že molekuly vyzařují svou energii v dávkách.
- Stefan-Boltzmannův zákon – Souhrnné množství energie, které vysílá absolutně černé těleso v čase.
- Lambertův zákon – matematické vyjádření závislosti záření na vlastnostech materiálu tělesa, přes které působí. Platí pouze pro absorpci

### 3 Teorie výpočtu tepelných ztrát objektu dle ČSN 06 0210

#### 3.1 Seznam potřebných podkladů

Pro výpočet je nutno zajistit tyto materiály a informace: [22]

- Půdorysní výkresy objektu a jejich situování vzhledem ke světovým stranám
- Tepelně-izolační vlastnosti užitých materiálů konstrukcí, oken a dveří
- Součinitele spárové průvzdušnosti oken a dveří
- Informace o různých místnostech a jejich využití
- údaje o teplotách (interiér a exteriér)

#### 3.2 Výpočet celkových ztrát

Výpočet tepelné ztráty objektu je dán „Rovnicí 8 – Celková ztráta objektu“, která udává celkovou hodnotu tepelných ztrát. [22]

$$Q_c = Q_P + Q_V - Q_Z \quad (8)$$

Kde	$Q_c$	[W]	Celková ztrátová bilance
	$Q_P$	[W]	Ztráty prostupem
	$Q_V$	[W]	Ztráty větráním
	$Q_Z$	[W]	Tepelné zisky

##### 3.2.1 Ztráta prostupem

Při výpočtu je nutno začít výpočtem základním prostupem obvodové stěny. Pro výpočet je nutno znát hodnoty vnitřních a vnějších teplot, rozměry a skladbu konstrukce a její tepelně-izolační vlastnosti. [22]

Rovnice potřebné pro výpočet jsou seřazeny v pořadí, ve kterém je proveden i vlastní výpočet. Z výpočtu tepelného odporu, viz „Rovnice 9 – Tepelný odpor“, lze vypočítat součinitel prostupu tepla. Hodnoty  $R_{si}$  a  $R_{se}$  jsou obsaženy v Tabulce 3, která popisuje velikosti tepelných odporů pro interiér a exteriér dle směru počítané stěny. [22]

Tabulka 3 – Tabulka odporů dle směru tepelného toku

Odpor	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	Dolů
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,4	0,4	0,4

$$R_T = R_{si} + \sum R_J + R_{se} \quad (9)$$

kde	$R_T$	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	celkový tepelný odpor
	$R_{si}$	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor v interiéru
	$R_J$	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor v konstrukci zdi
	$R_{se}$	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor v exteriéru

Tepelný odpor zděné konstrukce se skládá ze součtu všech odporů obsažených v konstrukci a je popsán „Rovnicí 10 – Tepelný odpor zděné konstrukce“. [24]

$$R_J = \sum \frac{l_i}{\lambda_i} \quad (10)$$

Potřebná hodnota celkového součinitele prostupu tepla dle „Rovnice 11 – Celkový součinitel prostupu tepla. [24]

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (11)$$

Základní tepelná ztráta („Rovnice 12 – Základní tepelná ztráta“) vzniklá prostupem přes celou konstrukci obklopující místnost. Pro výpočet je nutná volba vnitřní a vnější výpočtové teploty. [22]

$$Q_o = \sum U \cdot S \cdot (t_1 - t_2) \quad (12)$$

kde	$Q_o$	[W]	základní tepelná ztráta prostupem
	$S$	$[m^2]$	plocha uvažované konstrukce

Celkové ztráty prostupem („Rovnice 14 – Celková ztráta prostupem“) jsou dány také přírážkami. Přírážka na vyrovnání vlivu chlazených konstrukcí je hodnota, která umožňuje

dosažení výpočtové vnitřní teploty i při ochlazování konstrukcí a vypočte se dle „Rovnice 13 – Přírážka vyrovnání vlivu chlazených konstrukcí“. [22], [23]

$$p_1 = 0,15 \cdot U \quad (13)$$

kde  $p_1$  [-] přírážka vyrovnání vlivu chlazených konstrukcí

Druhá přírážka určuje urychlení vytápění. Pokud se obydlí vytápí nepřerušeně, s touto přírážkou se nepočítá. Při průměrné době vytápění domácnosti delších než 16 hodin denně se počítá s hodnotou rovnou  $p_2=0,1$ . Při době kratší než 16 hodin se hodnota volí dle ČSN 06 0220. [22], [23]

Třetí přírážka  $p_3$  je dána směrem, kterým je tepelný tok situován. Tabulka 9 popisuje přírážku vzhledem ke světové straně. Strana se volí dle nejvíce ochlazované konstrukce v místnosti. [22], [23]

Tabulka 4 - Tabulka odporů dle světových stran [22], [23]

Sever	Východ	Jih	Západ
0,1	0,05	-0,05	0
Severovýchod	Severozápad	Jihovýchod	Jihozápad
0,05	0,05	0	0

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad (15)$$

### 3.2.2 Ztráta větráním

Objemový tok větracího vzduchu je rozdělen dle požadavků na něj kladených. Prvním jsou požadavky hygienické a technologické a jejich výpočet se provádí dle „Rovnice 15 – Objemový tok daný hygienickými a technologickými požadavky“. Zde je hlavní veličinou intenzita výměny vzduchu  $n_h$ , kterou lze vyčíst z normy ČSN 73 0540-2. Druhými požadavky jsou v souvislosti s přirozeným větráním popsány v „Rovnici 16 – Objemový tok vzduchu daný přirozeným větráním“. K tomuto výpočtu je třeba nahlédnout do normy ČSN 06 0210, ze které lze vyčíst charakteristické čísla budovy

B (Tabulka 5) a místnosti M (Tabulka 6). Dále je třeba znát součinitele spárové průvzdušnosti oken a dveří. Tyto hodnoty udává výrobce. [22]

$$\dot{V}_{vH} = \frac{n_h \cdot V_m}{3600} \quad (15)$$

kde	$\dot{V}_{vH}$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	objemový tok daný hygienickými a technologickými požadavky
	$n_h$	$[\text{h}^{-1}]$	intenzita výměny vzduchu
	$V_m$	$[\text{m}^3]$	objem vzduchu v místnosti

$$V_{vP} = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M \quad (16)$$

kde	$V_{vP}$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	objemový tok daný přirozeným větráním
	$i_{LV}$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}]$	součinitel spárové průvzdušnosti
	$L$	$[\text{m}]$	délka spár otevíratelných oken a dveří
	$B$	$[\text{Pa}^{0,67}]$	charakteristické číslo budovy
	$M$	$[-]$	charakteristické číslo místnosti

Tabulka 5 – Charakteristické číslo budovy B [23]

Krajinná oblast se zřetelem k intenzitě větru	Poloha budovy v krajině	Rychlost větru $w$ $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	Charakteristické číslo budovy $B[\text{Pa}^{0,67}]$	
			Řadové budovy	Osaměle stojící budovy
Normální krajina	chráněná	4	3	4
	nechráněná	6	6	8
	velmi nepříznivá	8	9	12
Krajina s nepříznivými větry	chráněná	6	6	8
	nechráněná	8	9	12
	velmi nepříznivá	10	12	16

Tabulka 6 – Charakteristické číslo místnosti M [23]

Vnitřní dveře		Hodnota součinu $i_{lv} \cdot L$ [m <sup>3</sup> /s.Pa <sup>0.67</sup> ]	Charakteristické číslo místnosti M
Těsnost	Počet		
netěsné bez prahu	1	< 30.10 <sup>-4</sup>	0,7
		(30 až 50) .10 <sup>-4</sup>	0,5
		>50.10 <sup>-4</sup>	0,4
	2	< 60.10 <sup>-4</sup>	0,7
		(60 až 100) .10 <sup>-4</sup>	0,5
		> 100.10 <sup>-4</sup>	0,4
	3	< 90.10 <sup>-4</sup>	0,7
		(90 až 150) .10 <sup>-4</sup>	0,5
		> 150.10 <sup>-4</sup>	0,4
těsné s prahy	1	< 15.10 <sup>-4</sup>	0,7
		(15 až 25) .10 <sup>-4</sup>	0,5
		> 25.10 <sup>-4</sup>	0,4
	2	<30.10 <sup>-4</sup>	0,7
		(30 až 50) .10 <sup>-4</sup>	0,5
		> 50.10 <sup>-4</sup>	0,4
	3	< 45.10 <sup>-4</sup>	0,7
		(45 až 75) .10 <sup>-4</sup>	0,5
		> 75.10 <sup>-4</sup>	0,4

Z výsledků se vybere vyšší hodnota, která je dosazena za  $\dot{V}_v$  do „Rovnice 17 – Ztráta větráním“, výpočtu vlastní tepelné ztráty větráním.

$$\dot{Q}_v = 1300 \cdot \dot{V}_v \cdot (t_1 - t_2) \quad (17)$$

kde  $\dot{V}_v$  [m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>] objemový tok

## 4 Popis rodinného objektu

Pro výpočet tepelných ztrát byl zvolen rodinný dům rodiny Vitoslavských z Ostravy Hrabové. Parcela se nachází v místě dávno vypuštěného rybníka. Rodinný dům je navržen jako jednogenerační, skládá se z přízemí, bez sklepa a s obytným podkrovím a valbovou střechou. Součástí domku je i přistavěná garáž. V přízemí se nachází sedm místností včetně nevytápěné garáže. V podkroví je celkem sedm místností, z kterých je jedna nevytápěná. Mezi střechou a vrchním stropem podkroví se nachází nevytápěný půdní prostor. Rodinný dům je zobrazen na Obrázku

Obrázek 4 – Rodinný dům



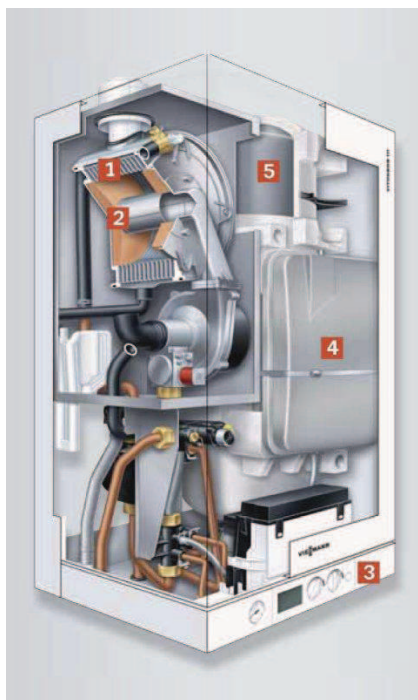
Základy jsou navrženy z prostého betonu B 15 s výztuží. Svislé obvodové konstrukce jsou složeny navrženy z pórobetonové tvárnice Ytong P2-400 na vápenocementovou maltu. Dům není nijak více izolován. Na vnější a vnitřní strany tvárnice jsou nanесeny již pouze omítky. Podkladní betony jsou navrženy z prostého betonu B 15. V celém přízemí je provedena izolace proti zemní vlhkosti natavením těžké lepenky BITAGIT na podkladní beton s penetračním nátěrem ALP.

Do okenních otvorů jsou dosazena plastová okna. Vnější dveře jsou zasazeny do dřevěné zárubně.

Strop nad přízemím je navržen z pálených stropních desek usazen do ocelových nosičů. V podkroví jsou provedené zateplené sádrokartonové pohledy. Přidány protizvukové desky IZOMIN. Strop podkroví se skládá z tepelné izolace, sádrokartonu, folie. Ve stropě půdního prostoru je sádrokarton nahrazen skelnou vatou.

Dům je vytápěn kondenzačním plynovým kotlem Viessmann VITODENS 111 o jmenovitém výkonu 30 kW. Topné zařízení má dlouhou životnost díky materiálu z ušlechtilé oceli. Účinnost kotle se pohybuje okolo 97%. Popis tohoto kotle v řezu na Obrázku 5.

Obrázek 5 - Plynový kondenzační kotel VITODENS 111



1 – Výměník tepla, 2 – Sálavý válcový hořák, 3 – Digitální regulace, 4 – Expanzní nádoba, 5 – Nabíjecí zásobník z ušlechtilé oceli



## 5 Vzor výpočtu ztrátového tepla

### 5.1 Výpočet ztrát dle ČSN 06 0210

#### 5.1.1 Zadané hodnoty

Stěna se skládá z cihel značky Ytong o tloušťce 44 mm, spojená jemným štukem zahlazená omítkou. Tabulka 7 obsahuje základní informace o daných materiálech.

Tabulka 7 – Skladba uvažované obvodové zdi

Materiál	$l_i$ [m]	$\lambda_i$ [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
Ytong P2-400	0,44	0,12
Baumit jemné štukování	0,005	0,8
Silikonová hlazená omítka	0,001	0,87

Pro výpočet je nutno si zvolit základní podmínky. Teplota exteriéru je rovna extrémní výpočtové teplotě pro Ostravu z tabulky 1 a je rovna  $-15^\circ\text{C}$ . Vnitřní teplota je uvažována  $20^\circ\text{C}$ . Uvažovaná konstrukce je svislá a je rovna ploše o  $1\text{ m}^2$ , objemu místnosti  $1\text{ m}^3$ . Místnost je bez oken či dveří. Výpočet ztráty větráním je zde tedy zanedbán. Vytápění probíhá více než 16 hodin denně. Konstrukce je situována na západ. Výpočet probíhá dle výše uvedených Rovnic 8÷17.

Další hodnoty potřebné k výpočtu

- $R_{si}=0,13$  [ $\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}$ ]
- $R_{se}=0,4$  [ $\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}$ ]
- $p_2=0,1$  [-]
- $p_3=0$  [-]

#### 5.1.2 Vlastní výpočet dle ČSN 06 0210

Výpočet probíhá dle výše uvedených Rovnic 8÷17.

$$R_j = \sum \frac{l_i}{\lambda_i} = \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} = \frac{0,001}{0,87} + \frac{0,44}{0,12} + \frac{0,005}{0,8} = 3,67 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$R_T = R_{si} + R_j + R_{se} = 0,13 + 3,7 + 0,4 = 4,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$$U_c = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{4,23} = 0,24 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\dot{Q}_o = U_c \cdot S_j \cdot (t_1 - t_2) = 0,24 \cdot 1 \cdot (20 - (-15)) = 8,4 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_o + \dot{Q}_v - \dot{Q}_z = 8,4 + 0 - 0 = 8,4 \text{ W}$$

Výsledkem je ztráta o velikosti  $8,4 \text{ W} \cdot \text{m}^2$  konstrukce. Pro zjednodušení je zbývajících výpočet proveden pomocí programu Stavební fyzika – Ztráty.

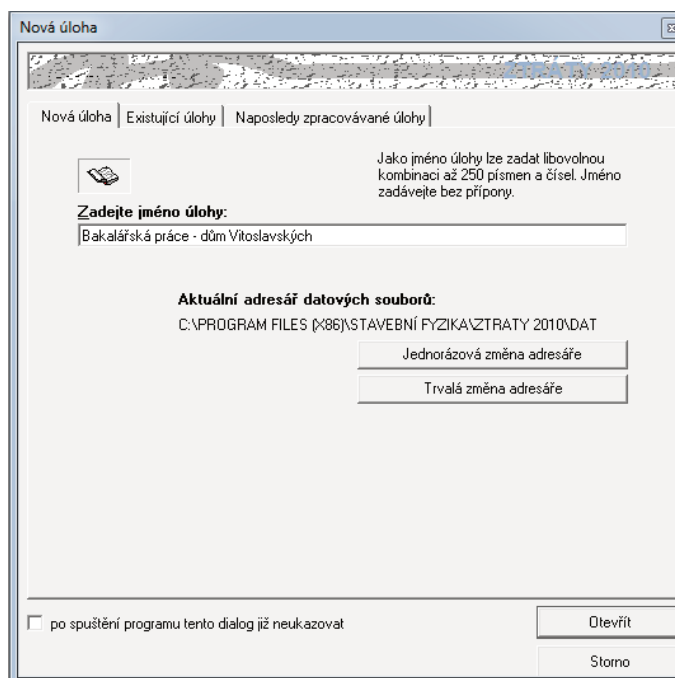
## 6 Výpočet tepelných ztrát programem – metodika zadávání

Výpočet tepelných ztrát s využitím výpočtového softwaru Stavební fyzika 2010 – Ztráty 2010. Tento program plně vyhovuje normám ČSN EN 12831 (Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu), ČSN 730540 (Tepelná ochrana budov).

### 6.2 Vlastní práce v programu

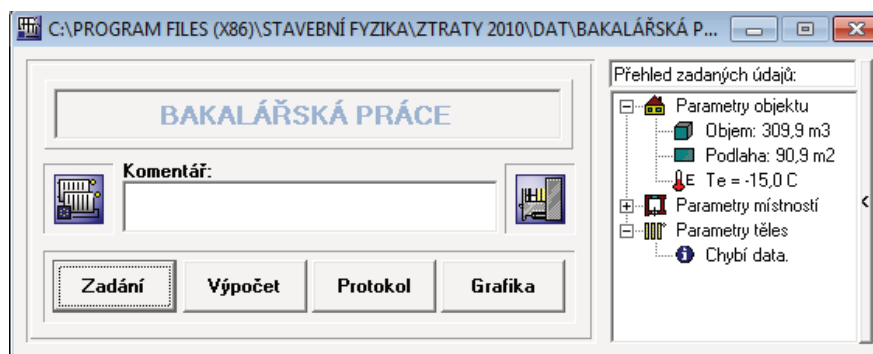
V prvním kroku se založí úloha daného projektu. Tento krok popisuje Obrázek 6.

Obrázek 6 - Založení úlohy



Po založení úkolu se otevře zobrazení programu, kde si lze vybrat úkon, se kterým se bude pokračovat - viz Obrázek 7.

Obrázek 7 - Hlavní nabídka

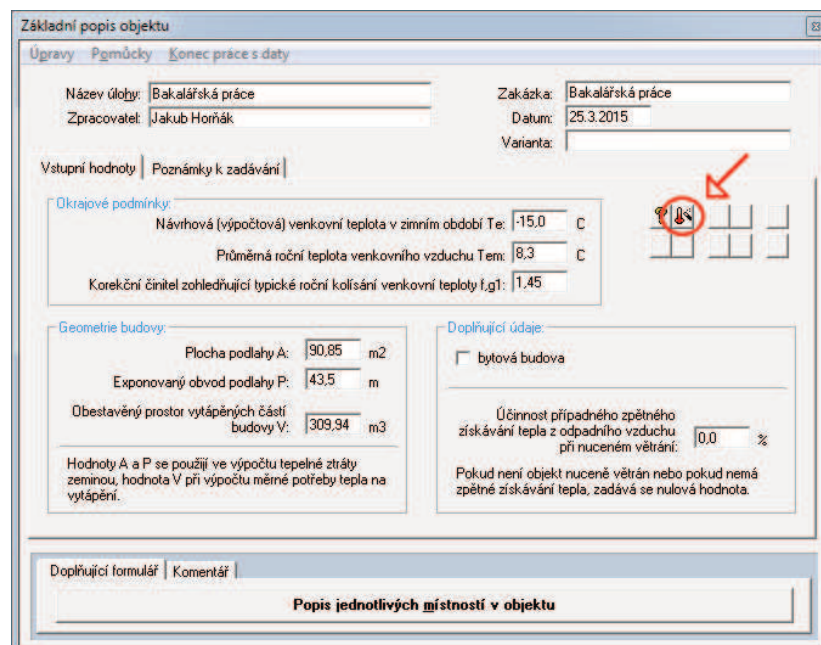


Samotná práce s programem se nachází pod tlačítkem „Zadání“. Zde se do úkolu zapisují hodnoty určující okrajové podmínky výpočtu. Patří mezi ně výpočetní teplota v zimním období, průměrná teplota venkovního vzduchu a korekční součinitel pro kolísání teploty. Tyto hodnoty lze vygenerovat podle zeměpisné polohy samotným programem, pomocí tlačítka vyznačeného v kroužku na Obrázku 8

Obrázek 8 – Základní popis objektu

. Důležité jsou také informace o geometrii budovy, kde se musí vyplnit plocha podlahy, exponovaný obvod podlahy a objem vzduchu ve vytápěných místnostech.

Obrázek 8 – Základní popis objektu



Dalším krokem je popsání jednotlivých místností. Zakládáním formulářů se postupně vyplňuje místnost po místnosti. Doplní se hlavní informace o místnosti a to jejich obvod, plocha podlahy a objem vzduchu. Výpočtová teplota v místnosti je zvolena na 20°C.

Pro každou místnost zvlášť se určuje, kudy bude teplo unikat. Od toho jsou záložky pro prostup do exteriéru, ztráty větráním, prostupem do jinak vytápěných místností či do nevytápěných místností. V každé z těchto záložek se otevře nabídka, do které se zadávají složky skládající stěnu, strop či podlahu. Na Obrázku 9 je zveřejněn příklad zadání hodnot pro obývací pokoj v přízemí.

Obrázek 9 – Popis jednotlivých částí v objektu

**Popis jednotlivých místností v objektu**

Úpravy Formulář Pomůcky Rychlé posuny Konec práce s daty

**Základní parametry místnosti:**

Číslo podlaží: 1 Označení podlaží: 1 patro  
 Číslo místnosti: 1 Označení místnosti: obývací pokoj Počet těchto místností na podlaží: 1

Návrhová (výpočtová) vnitřní teplota: 20,0 C ☒ Místnost je vytápěná

Půdorysná plocha: 35,19 m<sup>2</sup> Obvod podlahy: 23,75 m Objem vzduchu: 91,49 m<sup>3</sup>

☐ Vytápění je přerušované Pokles teploty: 0,0 C Celková doba zátopu: 0,0 h

Akumulace: střední Typ vytápění: Převažující přirozená konvekce teplého vzduchu

Tepelný zisk: 0,0 W Rychlost proudění: 0,1 m/s Střední radiční teplota: 20,0 C

Ztráta prostupem do nevytápěných prostor | Ztráta či zisk prostupem do odlišně vytápěných prostor

Ztráta větráním | Ztráta prostupem do exteriéru | Ztráta prostupem do zeminy

**Plošné konstrukce | Tepelné vazby**

	Označení	Plocha [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>req</sub>	Okno	Korekce e	DeltaU [W/m <sup>2</sup> K]
<input checked="" type="checkbox"/> 1	okno 0/4	2,5	2,35	0,00	<input checked="" type="checkbox"/> ano	1,15	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> 2	okno 0/3	1,38	4,50	0,00	<input checked="" type="checkbox"/> ano	1,15	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> 3	okno 0/3	1,38	4,50	0,00	<input checked="" type="checkbox"/> ano	1,15	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> 4	zeď	25,89	0,26	0,00	<input type="checkbox"/> ano	1,00	0,00
<input type="checkbox"/> 5		0,0	0,00	0,00	<input type="checkbox"/> ano	1,00	0,00
<input type="checkbox"/> 6		0,0	0,00	0,00	<input type="checkbox"/> ano	1,00	0,00
<input type="checkbox"/> 7		0,0	0,00	0,00	<input type="checkbox"/> ano	1,00	0,00
<input type="checkbox"/> 8		0,0	0,00	0,00	<input type="checkbox"/> ano	1,00	0,00
<input type="checkbox"/> 9		0,0	0,00	0,00	<input type="checkbox"/> ano	1,00	0,00
<input type="checkbox"/> 10		0,0	0,00	0,00	<input type="checkbox"/> ano	1,00	0,00

Formuláře: +

- 1 01.p./1
- 2 01.p./2
- 3 01.p./3
- 4 01.p./4
- 5 01.p./5
- 6 01.p./6
- 7 02.p./7
- 8 02.p./8
- 9 02.p./9
- 10 02.p./10
- 11 02.p./11
- 12 02.p./12
- 13 03.p./13

Formulář č. 1  
Blok 1- 1

Akt. pomůcky:

Pro každou složku složení (např. okno 0/4 nebo zeď) musí být spočtená její plocha, přes kterou dochází k prostupu. Vlastní konstrukce (např. zdi) se volí dle složení. Může se seskládat z knihovny programu, ale také z vlastních materiálů. Tyto materiály jsou definovány tloušťkou, součinitelem prostupu tepla, měrnou tepelnou kapacitou a faktorem difúzního odporu. Příklad takového složení zdi je na Obrázku 10. V záložce „Výpočet

parametrů“ se vypočítá celkový součinitel prostupu tepla, který je poté zapsán do záložky „Návrhové hodnoty“.

Obrázek 10 - Katalog konstrukcí, skladba konstrukce

Katalog konstrukcí : Zdivo

Parametry a skladba jsou v souladu.

Návrhové hodnoty | Skladba konstrukce | Výpočet parametrů | Poznámka

Název kce:

Vrstva	Název vrstvy	D [m]	Lambda	C	Ro	Mi	
<input checked="" type="checkbox"/> 1	Ytong P2-400	0,44	0,12	1000	400	7	?
<input checked="" type="checkbox"/> 2	Baumit jemná štuľ	0,005	0,8	850	1600	12	?
<input checked="" type="checkbox"/> 3	Silikonová hlazer	0,001	0,87	1050	1775	130	?
<input type="checkbox"/> 4							?
<input type="checkbox"/> 5							?
<input type="checkbox"/> 6							?
<input type="checkbox"/> 7							?
<input type="checkbox"/> 8							?
<input type="checkbox"/> 9							?
<input type="checkbox"/> 10							?

150 položek

**Použít konstrukci** **Návrat bez výběru** **Přidat konstrukci** **Kopírovat konstrukci** **Vymazat konstrukci**

Poslední část uzavírající výpočet je zadání v každé z místností tepelné vazby. Zde je opět vypracován v programu katalog tepelných vazeb. Záložka se nachází vedle zadávání plošné konstrukce. Zadáváme zde všechny místa, kde může docházet ke zvýšenému tepelnému toku. Příkladem jsou okna, dveře, spojení stěny se stropem nebo podlahou a rohy stěn. V programu se zvolí typ tepelné vazby a k ní odpovídající rozměr. Metodika zadání tepelných vazeb je zobrazena na Obrázku 11.

Obrázek 11 - Tepelné vazby

Plošné konstrukce | Tepelné vazby

	Označení	Délka [m]	Psi [W/mK]	Korekce e
<input checked="" type="checkbox"/> 1	Kout stěn bez zateplení	2,6	-0,15	1,00
<input type="checkbox"/> 2	Okno na středu stěny bez zateplení	0,0	0,10	1,00
<input checked="" type="checkbox"/> 3	Okno na středu stěny bez zateplení	11,4	0,10	1,00
<input checked="" type="checkbox"/> 4	Styk stěny bez zateplení a stropu	6,4	0,80	1,00
<input checked="" type="checkbox"/> 5	Styk stěny bez izolace a podlahy	6,4	0,50	1,00
<input type="checkbox"/> 6		0,0	0,00	1,00
<input type="checkbox"/> 7		0,0	0,00	1,00
<input type="checkbox"/> 8		0,0	0,00	1,00
<input type="checkbox"/> 9		0,0	0,00	1,00
<input type="checkbox"/> 10		0,0	0,00	1,00

Když jsou všechny místnosti jedna po druhé seskládány a zadány, přichází na řadu vlastní výpočet. Tlačítko pro výpočet se nachází v hlavní nabídce. Kliknutím se spustí výpočet tepelné ztráty. Výsledkem je soubor, ve kterém jsou vypsané jednotlivé místnosti i jejich celkové tepelné ztráty.

### 6.3 Výpis výsledků po prvním výpočtu

V následujících tabulkách jsou zobrazeny výsledky získané pomocí počítačového softwaru Stavební fyzika – Ztráty. Tabulky 8÷10 poskytují náhled do výsledků a zadaných hodnot užitých pro výpočty. Grafické zobrazení výsledku na Obrázku 12.

V Tabulce 11 jsou obsaženy výsledky výpočtů tepelných ztrát pro jednotlivé části obytného domu a plocha, kterou tyto plochy zaplňují. A celkové vyhodnocení je obsaženo v Tabulce 12.

Pro detailnější náhled do výsledků výpočtů lze nahlédnout do elektronických příloh.

**Tabulka 8 – Výpis výsledků první patro**

Patro	Místnost	Teplota	Vytápěná plocha	Objem vzduchu	Ztráta	Podíl z celkové ztráty
		T [°C]	A [m <sup>2</sup> ]	V [m <sup>3</sup> ]	Q <sub>c</sub> [W]	Q <sub>c</sub> [%]
1	Obývací pokoj	20	35,2	91,5	2597	28,2
1	Kuchyně	20	9,9	25,7	711	7,7
1	Komora	20	2,3	6	119	1,3
1	Vstupní místnost	20	6,3	16,5	415	4,5
1	Koupelna + WC	20	3,7	9,5	303	3,3
1	N - Garáž	13	30,3	96,6	2461	26,7



Tabulka 9 – Výpis výsledků druhé patro

Patro	Místnost	Teplota	Vytápěná plocha	Objem vzduchu	Ztráta	Podíl z celkové ztráty
		T [°C]	A [m <sup>2</sup> ]	V [m <sup>3</sup> ]	Q <sub>c</sub> [W]	Q <sub>c</sub> [%]
2	Pokoje	20	19,3	34,2	484	5,3
2	Koupelna	20	10,2	23,3	289	3,1
2	Ložnice	20	10,9	30	358	3,9
2	Pracovna	20	17	30,8	385	4,2
2	Chodba	20	16,2	35	219	2,4
2	N - komora	18	5,5	8,1	219	2,4

Tabulka 10 – Výpis výsledků třetí patro

Patro	Místnost	Teplota	Vytápěná plocha	Objem vzduchu	Ztráta	Podíl z celkové ztráty
		T [°C]	A [m <sup>2</sup> ]	V [m <sup>3</sup> ]	Q <sub>c</sub> [W]	Q <sub>c</sub> [%]
3	Půda	16	22,2	9,8	178	1,9

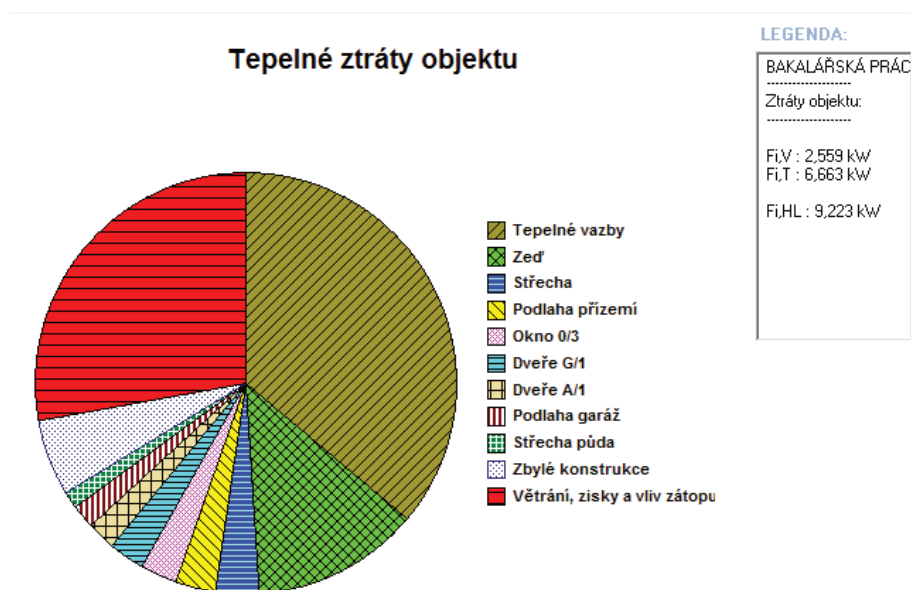
Tabulka 11 - Ztráty prostupem

Ztráty prostupem	Q [W]	Plocha [m <sup>2</sup> ]
Ztráty okny	1548	17,1
Ztráty zdí	1170	146,8
Ztráty dveřmi	573	9,4
Ztráty podlahami	514	125,1
Ztráty střechou	435	90,6
Ztráty tepelnými vazbami	3316	-

Tabulka 12 - Celkové ztráty objektu

Celkové ztráty objektu [W]	Ztráty prostupem [W]	Ztráty větráním [W]
9223	6663	2559

Obrázek 12 - Grafické znázornění



#### 6.4 Vyhodnocení výsledků a snížení tepelných ztrát

V prvním kroku byl proveden výpočet jediné jednoduché stěnové konstrukce bez oken či dveří s výslednou tepelnou ztrátou  $8,4 \text{ W/m}^2$ . Tento výpočet byl proveden dle normy ČSN 06 0210.

Pomocí výpočtového softwaru Stavební fyzika – Ztráty 2010 byla spočtena celková tepelná ztráta objektu  $9,2 \text{ kW}$ . Největší ztráta vzniká v místech tepelných vazeb, hlavně v místech mezi zdí a okny a to celkem  $3,316 \text{ kW}$ . Druhou velkou složkou jsou ztráty větráním a třetí prostupem tepla přes obvodové zdivo. Jen tyto složky obsahují v součtu  $7,052 \text{ kW}$ , tj.  $76,6\%$  z celkových ztrát. Průměrná hodnota součinitele prostupu tepla je  $\lambda = 0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ . Hodnota daná normou ČSN 730540-2 je  $\lambda = 0,45 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Při porovnání výpočtů zděné konstrukce počítané dle ČSN 06 0210 o tepelné ztrátě  $8,4 \text{ W/m}^2$  a výsledným hodnotám získaným výpočtem v programu, kde na ploše  $146,8 \text{ m}^2$  zdi, vzniká ztráta  $1170 \text{ W}$ . Při podělení této hodnoty na hodnotu pro jeden  $\text{m}^2$ , získáme  $8 \text{ W/m}^2$ . Protože jsou tyto výsledky jen minimálně rozdílné, můžeme předpokládat správnost výpočtu.

Z výpočtů počítačového softwaru je patrné, že největšími problémy jsou tepelné mosty a ztráty větráním. Pro snížení ztrát se doporučuje zlepšení izolace okenních rámců či dveří.

Teplo, které je nutno získat na vytopení, je minimálně 15007 kWh. Měrná roční potřeba tepla na vytápění  $E_1=48,42 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Celková cena za plyn využitý pro vytápění za rok při ceně 1,46 Kč je 21911 Kč. (Hodnoty viz výsledek výpočtu v příloze) [17]

Pro snížení tepelného toku se naskytuje možnost zaizolování obvodových stěn. Pokud by se na stěny přidala vrstva pěnového polystyrenu tloušťky 15 cm, snížila by se tepelná ztráta při stejném postupu zadávání na 8,6 kW a cena za plyn využitý na vytápění za rok je 19630 Kč. Ušetřená částka 2281 Kč. Částka potřebná pro nákup izolačního polystyrenu je 31200 Kč. Tato částka se díky úspoře na vytápění vrátí za 13,6 let. Průměrná hodnota součinitele tepla klesla na přesnou hodnotu  $\lambda = 0,45 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , která je daná výše uvedenou normou.

## 7 Závěr

Cílem této práce bylo uvést čtenáře do problematiky tepelných ztrát a návrhů pro snížení úniků tepla a také výpočet tepelných ztrát rodinného domu.

Teoretická část obsahuje základní informace o unikajícím teple a možnosti izolace. Postupně byly sepsány druhy unikajícího tepla skrze střechu, zdi, okna a také podlahou. Další částí práce je úvod do teorie přestupu tepla, kde je v základním znění popsána teorie přestupu díky kondukci, konvekci a sálání.

Byl proveden příklad výpočtu zděné konstrukce popsaného rodinného domu dle normy ČSN 06 0210. Výsledkem byla zjištěna ztráta rovna 8,4 W na ploše o 1 m<sup>2</sup>. Celková tepelná ztráta přes zděnou část budovy činí 1,2 kW.

Pomocí výpočtového programu Stavební fyzika – Ztráty byl zhotoven výpočet ztrát celého domu. Byla zhotovena metodika zadávání hodnot v programu. Informace zadané do softwaru byly získané z dokumentů popisující skladbu domu (obsahující výkresovou dokumentaci je možno najít v příloze bakalářské práce). Z výsledku výpočtu programu byly vyjmuty důležité hodnoty a ty byly sepsány v tabulkách.

Pro snížení ztrátových hodnot byl předložen návrh pro izolování vnější obvodové stěny. Polystyrenový izolant značky EPS 50 Z o tloušťce 150 mm byl doplněn do skladby konstrukce zdi ve výpočtovém programu. Nově vypočtená ztráta byla snížena na 8,6 kW. Spočtená návratnost investice do izolace činí 13,6 let. Výsledek výpočtu s přidanou izolační vrstvou je součástí přílohy.

## **8 Seznam příloh**

Příloha 1: Soubory se zadáním pro Stavební fyzika – Ztráty 2010.

Příloha 2: Výsledek výpočtu tepelných ztrát objektu

Příloha 3: Výsledek výpočtu tepelných ztrát objektu s přidanou izolací.

Příloha 4: Výkres – Půdorys přízemí

Příloha 5: Výkres – Půdorys podkroví

Příloha 6: Výkres – Půdorys krovu

## LITERATURA

- [1] Tepelné ztráty. [www.energetickyporadce.cz/](http://www.energetickyporadce.cz/) [online]. [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/cs/uspory-energie/tepelne-ztraty/>
- [2] Tepelné ztráty 2. [www.revitalizace.com](http://www.revitalizace.com) [online]. [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: <http://www.revitalizace.com/teorie-vypocty/co-je-tepelna-ztrata-objektu-a-vypocet-potreby-tepla-na-vytapeni/>
- [3] AUTOR NEZNÁMÝ. [www.arnika.org](http://www.arnika.org) [online]. [cit. 4.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://arnika.org/uspory-energie-a-alternativy-k-beznym-palivum>.
- [4] Hydroizolace plochých střech. [Www.bueho.cz](http://www.bueho.cz) [online]. [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: <http://www.bueho.cz/hydroizolace-plochych-strech>
- [5] Ztráty prostupem střechou. [www.ekowatt.cz](http://www.ekowatt.cz) [online]. [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/uspory/ztraty-postupem-strechou.shtml>
- [6] Volba tloušťky izolace. [Www.knaufinsulation.cz](http://www.knaufinsulation.cz) [online]. [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: <http://www.knaufinsulation.cz/zatepleni-sikme-strechy/co-byste-meli-vedet>
- [7] DAVID, Daniel. Tipy na vhodné způsoby zateplení domu. In: [Www.mujdum.dumabyt.cz/](http://www.mujdum.dumabyt.cz/) [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: [http://mujdum.dumabyt.cz/rubriky/stavba/tipy-na-vhodne-zpusoby-zatepleni-domu\\_339.html](http://mujdum.dumabyt.cz/rubriky/stavba/tipy-na-vhodne-zpusoby-zatepleni-domu_339.html)
- [8] KALOUSEK, Miloš. Energetická bilance oken: Solární zisky a ztráty v pasivních domech. In: [Www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4695-energeticka-bilance-oken-solarni-zisky-a-ztraty-v-pasivnich-domech>.
- [9] FOREJTOVÁ, Irena. Dodatečná izolace: aneb netěsní vám okna. In: [Www.living.cz](http://www.living.cz) [online]. 2007 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.living.cz/tipy-a-trendy/dodatecna-okenni-izolace-aneb-netesni-vam-okna.html>
- [10] ŠKRABALOVÁ, Eva. *Tepelné mosty: Pro nízkoenergetické a pasivní domy* [online]. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2011 [cit. 2016-04-27]. ISBN 978-80-247-7565-4. Dostupné z: [https://www.ereading.cz/nakladatele/data/ebooks/5068\\_preview.pdf](https://www.ereading.cz/nakladatele/data/ebooks/5068_preview.pdf)
- [11] ŠUBRT, Roman. *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích* [online]. In: . 2012 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2526-tepelne-mosty-ve-stavebnich-konstrukcich>.
- [12] Tepelné mosty. In: *Energy consulting* [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.e-c.cz/index.php?page=tmesty>.

- [13] ING. VESELÝ, Jiří a Petr ING. VACEK. Zateplení podlahy: Jak na to? In: *Www.nazeleno.cz* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/zatepleni-podlahy-jak-na-to.aspx>
- [14] AUTOR NEZNÁMÝ. Ztráty větráním. In: *Www.ekowatt.cz* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/uspory/ztraty-vetranim.shtml>
- [15] POKORNÝ, Marek. *Vedení tepla - Kondukce* [online]. In: . [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: [http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni\\_odolnost/e-text/specialiste/1/1-2\\_Vedeni\\_tepla.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-2_Vedeni_tepla.pdf)
- [16] Vedení tepla. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Veden%C3%AD\\_tepla](https://cs.wikipedia.org/wiki/Veden%C3%AD_tepla).
- [17] AUTOR NEZNÁMÝ. *slideplayer.cz* [online]. [cit. 4.5.2016]. Dostupný na WWW: <http://slideplayer.cz/slide/2863735/>
- [18] Šíření tepla prouděním: Konvekci. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0%C3%AD%C5%99en%C3%AD\\_tepla\\_proud%C4%9Bn%C3%ADm](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0%C3%AD%C5%99en%C3%AD_tepla_proud%C4%9Bn%C3%ADm)
- [19] POKORNÝ, Marek. *Proudění tepla - Konvekce* [online]. In: . [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: [http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni\\_odolnost/e-text/specialiste/1/1-3\\_Proudeni\\_tepla.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-3_Proudeni_tepla.pdf)
- [20] ING. POKORNÝ, Marek. *Sálání tepla - Radiace* [online]. 10.11.2006. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: [http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni\\_odolnost/e-text/specialiste/1/1-4\\_Salani\\_tepla.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/1/1-4_Salani_tepla.pdf)
- [21] Lambertův-Beerův zákon. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2014 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Lambert%C5%AFv-Beer%C5%AFv\\_z%C3%A1kon](https://cs.wikipedia.org/wiki/Lambert%C5%AFv-Beer%C5%AFv_z%C3%A1kon)
- [22] ELCNER, Jakub. *POROVNÁNÍ VÝPOČTU TEPELNÝCH ZTRÁT DLE ČSN 06 0210 A ČSN EN 12831* [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=5958](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5958). Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. JAN KOŠNER, Ph.D.
- [23] AUTOR NEZNÁMÝ. Výpočet tepelné ztráty dle ČSN 06 0210. In: *Http://vytapani.tzb-info.cz/* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: [http://vytapani.tzb-info.cz/docu/tabulky/0001/000107\\_help.html#mistnost\\_qvv](http://vytapani.tzb-info.cz/docu/tabulky/0001/000107_help.html#mistnost_qvv)
- [24] AUTOR NEZNÁMÝ. Určení součinitele prostupu tepla U. In: *Http://www.fce.vutbr.cz/* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: [http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/BT03\\_S/1\\_Soucinitel\\_prostupu%20U\\_bt03.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/BT03_S/1_Soucinitel_prostupu%20U_bt03.pdf)

---

[15] WOLF, Petr. *Současná cena plynu*. DOI: cenyenergie.cz. Dostupné také z: <http://www.cenyenergie.cz/soucasna-cena-kubiku-m3-a-kwh-zemniho-plynu/#/promo-ele>.